

04 APR 2005

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005年3月3日 (03.03.2005)

PCT

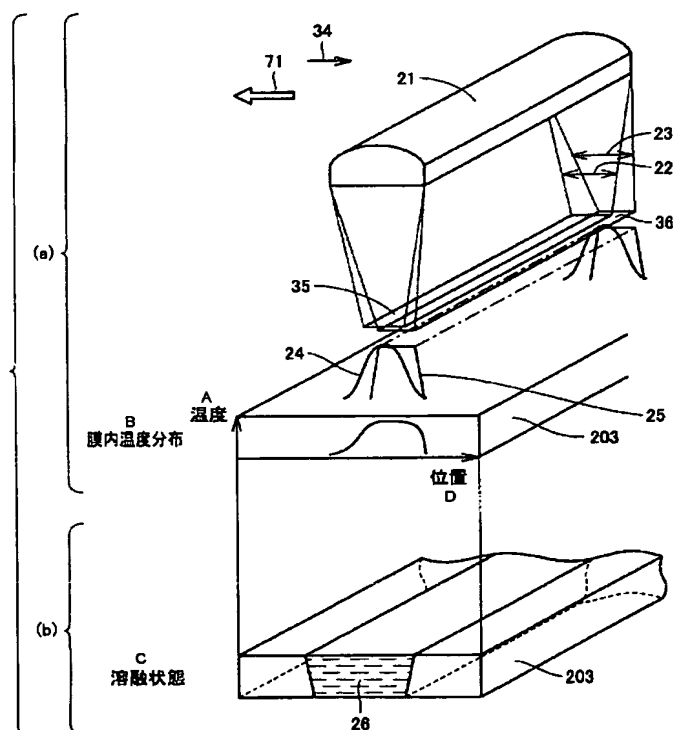
(10) 国際公開番号
WO 2005/020301 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/20, 29/786, 21/336
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011763
- (22) 国際出願日: 2004年8月17日 (17.08.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-298671 2003年8月22日 (22.08.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井上 満夫 (INOUE, Mitsuo) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 時岡 秀忠 (TOKIOKA, Hidetada) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 由良 信介 (YURA, Shinsuke) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 深見 久郎, 外 (FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300054 大阪府大阪市北区南森町2丁目1番29号 三井住友銀行南森町ビル 深見特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF PRODUCING THIN-FILM SEMICONDUCTOR AND PRODUCTION DEVICE

(54) 発明の名称: 薄膜半導体の製造方法および製造装置



A...TEMPERATURE
B...IN-FILM TEMPERATURE DISTRIBUTION
C...MOLTEN STATE
D...POSITION

(57) Abstract: A method of producing a thin-film semiconductor comprising the poly-crystallizing step of condensing in a linear shape a visible-light pulse laser (22) onto the surface of a material to be irradiated and repeatedly applying the laser while shifting an irradiated position in the width direction of this linear irradiation area (35) so as to overlay the next-timing irradiation area (35) to thereby form a polycrystalline silicon film on the surface of the material to be irradiated, wherein the poly-crystallizing step applies a UV pulse laser (23) to a second irradiation area (36) partially overlapping the first irradiation area (35) while or before the first irradiation area (35) is irradiated by the visible-light pulse laser (22).

(57) 要約: 薄膜半導体の製造方法は、可視光パルスレーザ (22) を被照射物の表面に線形状に集光して、この線形状の照射領域 (35) の幅方向に次のタイミングの照射領域 (35) を重ね合わせるようにして位置をずらしながら繰返し照射して上記被照射物の表面に多結晶シリコン膜を形成する多結晶化工程を含み、この多結晶化工程は、可視光パルスレーザ (22) が第1の照射領域 (35) に照射されている間または照射される前に第1の照射領域 (35) に部分的に重なる第2の照射領域 (36) に紫外光パルスレーザ (23) を照射する。



LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

薄膜半導体の製造方法および製造装置

技術分野

- [0001] 本発明は、薄膜半導体の製造方法および製造装置に関するものである。特に、レーザ照射を用いて再結晶化を行なう技術に関するものである。

背景技術

- [0002] 絶縁基板の表面に多結晶シリコン膜を半導体層として形成し、この半導体層を従来の半導体基板の代わりとして利用するような多結晶シリコン薄膜トランジスタが知られている。このような多結晶シリコン薄膜トランジスタにおいては、シリコンの結晶粒界がキャリアの移動度を制限するため、なるべく大粒径の多結晶シリコンを均一に形成することが望ましい。しかしながら、出発物質となるアモルファスシリコンにレーザを照射することで加熱して熔融させ、冷却の際に再結晶化を行なうという、いわゆるレーザ再結晶化方式では、結晶成長を促すシリコン熔融部の温度制御が困難であった。そのため、大粒径結晶を均一に、かつ安定して形成することは困難であった。
- [0003] これに対して、第一に、特開2000-12484号公報(特許文献1)に開示された技術がある。特許文献1では、可視域に波長を有する第1のパルスレーザ光と、第1のパルスレーザ光をその第2高調波に波長変換することによって生じる紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光とを重畳した状態でアモルファスシリコンに照射し、アモルファスシリコン上で、時間的かつ空間的に第2のパルスレーザ光が第1のパルスレーザ光に包含されるようにして、第2のパルスレーザ光で熔融したシリコンからの熱量の散逸を抑制することで熔融部の温度制御を行ない、比較的大粒径の多結晶シリコン膜を形成している。
- [0004] 第二に、特開2000-286195号公報(特許文献2)に開示された技術がある。特許文献2では、可視光レーザであるNd:YAG2 ω レーザビームを用い、幅方向にほぼガウス形状の光強度分布を有する細線状にレーザビームを集光し、アモルファスシリコン上である一定以上のエネルギー密度勾配をもつレーザビームとして照射している。この技術では、アモルファスシリコンでの吸収係数が低い可視レーザ光を採用する

ことによって膜厚方向の温度勾配を抑制するとともに、幅方向での温度勾配を意図的に形成して1次元の横方向成長を生じさせている。このことにより、大粒径結晶列をもつ多結晶シリコン膜を得ている。

特許文献1:特開2000-12484号公報

特許文献2:特開2000-286195号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 上述の特許文献1の例では、第1のパルスレーザ光による加熱が重畳して熔融シリコンの冷却時間を長くすることにより結晶成長時間も長くなり、結晶は大きくなる。しかしながらアモルファスシリコンを熔融する第2のパルスレーザ光は紫外光であり、熔融したシリコン膜中に膜厚方向の温度勾配が生じるため、結晶は膜厚方向に成長する。そのため、結晶の大きさは膜厚に制限されてしまうという問題点があった。
- [0006] 上述の特許文献2の例では、可視光のレーザビーム(以下、「可視レーザ」という。)を用いているため、結晶は膜厚方向ではなく横方向に成長する。したがって、膜厚による制限は受けずに大粒径化を図ることができる。しかし、ビーム形状が幅方向にガウス形状の分布をもつため、ビームのガウス形状分布の両側の勾配部分で同時に横方向結晶成長が生じる。特許文献2の例でも一般的なレーザ再結晶化方式の場合と同様に、細線状レーザビームを幅方向に重ね合わせながら順次照射位置を移動させていくことで順次結晶化を行ない、アモルファスシリコン全面を結晶化していくが、進行方向前側の勾配部分で一旦形成された結晶部分では良質の多結晶シリコンが形成されているため、可視光の吸収は非常に少なく、第1のパルスレーザ光を単に照射しただけでは再度熔融するほどの熱量を与えることができない。このため、ガウス形状分布の勾配部分の両側でそれぞれ形成された多結晶シリコン列がそれぞれ独立に存在し、列間の結晶粒界の性質が悪いため、結晶粒径が大きくなった割にはキャリア移動度が高くないという問題点があった。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明では、膜厚による制限を受けず、なおかつ、安定して大きな結晶粒径の多結晶シリコン膜を形成することができるような薄膜半導体の製造方法および製造装置

を提供することを目的とする。

- [0008] 上記目的を達成するため、本発明に基づく薄膜半導体の製造方法は、可視光パルスレーザを被照射物の表面に線形状に集光して、この線形状の照射領域の幅方向に次のタイミングの照射領域を重ね合わせるようにして位置をずらしながら繰返し照射して上記被照射物の表面に多結晶シリコン膜を形成する多結晶化工程を含み、上記多結晶化工程は、上記可視光パルスレーザが第1の照射領域に照射されている間または照射される前に上記第1の照射領域に部分的に重なる第2の照射領域に紫外光パルスレーザを照射する。

発明の効果

- [0009] 本発明によれば、第1、第2のパルスレーザ光の重ね合わせによって被照射物の表面が熔融するが、第2のパルスレーザ光を照射した部分はアモルファス化するので、スキャンを行なうことによって、所望の領域にきわめて良好な多結晶シリコン膜を形成することができる。特に、被照射物の全面にわたって横方向に成長した結晶に同一の結晶成長方向をもたせることができる。しかも、横方向成長の末端部分が再度熔融されて、それを起点に次の横方向成長が進むので、結晶成長がほぼ連続的となり、結晶性を非常に良くすることができる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本発明に基づく薄膜半導体の製造方法が用いられる半導体装置の製造方法の第1の工程の説明図である。
- [図2]本発明に基づく薄膜半導体の製造方法が用いられる半導体装置の製造方法の第2の工程の説明図である。
- [図3]本発明に基づく薄膜半導体の製造方法が用いられる半導体装置の製造方法の第3の工程の説明図である。
- [図4]本発明に基づく薄膜半導体の製造方法が用いられる半導体装置の製造方法の第4の工程の説明図である。
- [図5]本発明に基づく薄膜半導体の製造方法が用いられる半導体装置の製造方法の第5の工程の説明図である。
- [図6]本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造装置の概念図である

。

[図7]本発明に基づく実施の形態1における製造方法によって被照射物上に生じる第1, 第2のパルスレーザ光の照射領域の重なり具合の説明図である。

[図8]本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造方法に含まれるスキャン照射工程の説明図である。

[図9]本発明に基づく実施の形態1における第1のパルスレーザを照射した様子の説明図である。このうち(a)は、第1のパルスレーザ光を単独で照射した場合の幅方向のエネルギー密度分布のプロファイルのグラフであり、(b)は、第1のパルスレーザ光によって被照射物の中に熔融部が生じる様子を示す断面図であり、(c)は、被照射物内部の温度分布を示すグラフである。

[図10]本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造方法に含まれるスキャン照射工程によって成長した結晶粒の説明図である。

[図11]本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造方法に含まれるスキャン照射工程によって横方向に結晶が成長していく様子の説明図である。

[図12]波長と吸収係数との関係を示すグラフである。

[図13]第2のパルスレーザ光の照射エネルギー密度と、照射後に形成される結晶状態との関係を示すグラフである。

[図14]本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造方法に含まれる多結晶化工程で被照射物の表面をジグザグ状にスキャンする様子の説明図である。

[図15]本発明に基づく実施の形態1における第1, 第2のパルスレーザ光を一部重なるように照射した様子の説明図である。このうち(a)は、第1, 第2のパルスレーザ光の幅方向のエネルギー密度分布のプロファイルのグラフであり、(b)は、第1, 第2のパルスレーザ光同士の重ね合わせによって被照射物の中に熔融部が生じる様子を示す断面図であり、(c)は、被照射物内部の温度分布を示すグラフである。

[図16]本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造方法に含まれる多結晶化工程によって横方向に結晶が成長していく様子の説明図である。

[図17]本発明に基づく実施の形態2における薄膜半導体の製造装置に含まれる内部波長変換型固体レーザ装置の概念図である。

[図18]本発明に基づく実施の形態3における薄膜半導体の製造装置の概念図である。

[図19]本発明に基づく実施の形態4における薄膜半導体の製造装置の概念図である。

[図20]本発明に基づく実施の形態5における薄膜半導体の製造方法に含まれる多結晶化工程の説明図である。

符号の説明

- [0011] 1 パルスレーザ光源、2 第1のパルスレーザ光、6 第2のパルスレーザ光、8 集光照射光学系、9 被照射物、10 非線形光学素子、11 集光レンズ、12 ベンドミラー、13 ビーム調整光学系、14 ステージ、21 (線形上に集光するための)集光レンズ、22 (線形状に集光された)第1のパルスレーザ光、23 (線形状に集光された)第2のパルスレーザ光、24 (集光された第1のパルスレーザ光のプロファイル、24n (新たに照射された第1のパルスレーザ光のプロファイル、25 (集光された第2のパルスレーザ光のプロファイル、26 溶融部、27 (線形状に集光されたビームの)長手方向、29 結晶粒、31, 38 横方向成長結晶、32 (結晶が成長する向きを示す)矢印、34 (第1のパルスレーザ光の照射領域が相対的にスキャンする向きを示す)矢印、35 (第1のパルスレーザ光の)照射領域、36 (第2のパルスレーザ光の)照射領域、37 アモルファス部分、51 (第2のパルスレーザ光を発する)パルスレーザ光源、52 ダイクロイックミラー、53 (第1のパルスレーザ光の)光軸、54 (第2のパルスレーザ光の)光軸、71 (被照射物が移動する向きを示す)矢印、80 プリズム、101 内部波長変換型固体レーザ装置、115 固体レーザ媒質、116 半導体レーザ素子、117 基本波レーザ光、118 Qスイッチ、119 第2高調波発生用非線形光学素子、120 第1の端部ミラー、121 第2の端部ミラー、122 第2高調波取出しミラー、123 折曲げミラー、124 ケース、125 ビーム取出し窓、201 絶縁基板、202 下地膜、203 アモルファスシリコン膜、204 (レーザ照射を表す)矢印、206 (パターニングされた)多結晶シリコン膜、207 ゲート絶縁膜、208 ゲート電極、209 ソース電極、210 ドレイン電極、211 層間絶縁膜。

発明を実施するための最良の形態

- [0012] 図1〜図5を参照して、本発明に基づく薄膜半導体の製造方法および製造装置がどのような場面で用いられるかについて説明する。図1に示すように絶縁基板201の上面にCVD (Chemical Vapor Deposition) 法を用いて、シリコン酸化膜などにより下地膜202を形成する。下地膜202は、絶縁基板201中の不純物がこれから形成する多結晶シリコン膜中に拡散するのを防止するバリアの役割を担うものである。さらにその上を覆うようにアモルファスシリコン膜203を形成する。
- [0013] 図2の矢印204に示すように、レーザ光として350nm以上の可視域の波長を有する第1のレーザ光および350nm未満の紫外域の波長を有する第2のレーザ光を照射する。このレーザ光照射は、アモルファスシリコン膜203を加熱し、熔融させる。こうして熔融したシリコンが冷却・固化する際に多結晶シリコン膜205が形成される。その後、フォトリソグラフィ技術を用いて、図3に示すように多結晶シリコン膜206をアイランド状にパターンニングする。
- [0014] 図4に示すように、ゲート絶縁膜207としてシリコン酸化膜を形成し、さらにゲート電極208を形成する。図5に示すように、層間絶縁膜211としてシリコン酸化膜またはシリコン窒化膜を形成し、ソース電極209およびドレイン電極210を形成する。このようにして、多結晶シリコン膜206を半導体層とする薄膜トランジスタが作成される。
- [0015] 本発明が主に注目するのは、このうち、図1から図2にかけての工程、すなわち、アモルファスシリコン膜203にレーザ光を照射して一旦熔融させ、冷却・固化させることによって多結晶シリコン膜205を形成する工程である。以下、この工程について詳しく説明する。
- [0016] (実施の形態1)
- 図6を参照して、本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造装置であるレーザアニール装置について説明する。このレーザアニール装置は、パルスレーザ光源1を備える。パルスレーザ光源1は、可視域に属する波長を有する第1のパルスレーザ光2を発生させるためのものである。第1のパルスレーザ光2は、具体的には発振波長515nmのアルゴンパルスレーザ光である。被照射物9は図1に示したものであり、レーザ光が照射されることにより上面のアモルファスシリコン膜203が部分的に熔融し、再結晶化し、多結晶ポリシリコン膜を形成する。

- [0017] パルスレーザ光源1から被照射物9までの光路に沿っては、集光レンズ11、非線形光学素子10、ベンドミラー12、ビーム調整光学系13および集光照射光学系8が、順に配列されている。非線形光学素子10は、第1のパルスレーザ光2の一部を波長変換して、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6を生成し、第2のパルスレーザ光6を第1のパルスレーザ光2と同軸上に重畳させて出射するためのものである。図6では表示の都合で非線形光学素子10より右側では第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6とが平行な2本の直線で表されているが、実際にはこれら2つのレーザ光は光軸が同一となっている。
- [0018] 集光レンズ11は、非線形光学素子10に入射する第1のパルスレーザ光2の光強度を高め、非線形光学素子10における紫外光への波長変換効率の向上を図るためのものである。ベンドミラー12は、非線形光学素子10から出射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6の進行方向を直角に折り曲げるためのものである。集光照射光学系8は、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6を集光して被照射物9に照射するための集光手段である。被照射物9は、被照射物移動手段としてのステージ14上に設置されている。ステージ14は、上下、左右に移動できるようにになっている。
- [0019] 非線形光学素子10を出射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6は、ベンドミラー12により直角に折り曲げられ、集光照射光学系8に入射する。これにより、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6は、それぞれ線状に集光される。この製造装置では、第2のパルスレーザ光6の集光点が、被照射試料9上に位置するようにステージ14によって被照射物9の高さが調整されている。
- [0020] この製造装置におけるパルスレーザ光源1は、可視域にある発振波長515nmのアルゴンレーザを用い、これをQスイッチでパルス化することによって第1のパルスレーザ光2を発生させている。非線形光学素子10には、 β -BBO (β -BaB₂O₄、ベータバリウムボレイト)結晶が用いられている。非線形光学素子10においては、波長515nmの光である第1のパルスレーザ光2を受光して第1のパルスレーザ光2の2倍高調波である第2のパルスレーザ光6を発生させる際に位相整合条件が満たされるように β -BBO結晶の表面がカットされている。したがって、第2のパルスレーザ光6は、波

長258nmの紫外光となる。また、図には示していないが非線形光学素子10には温度および設置角度に応じた調整手段が設けられている。

- [0021] この製造装置においては、パルスレーザ光源1、集光照射光学系8などの組合せによって、可視光パルスレーザを基板状の被照射物9の表面に線状に集光して、この長手状の照射領域の幅方向に次のタイミングの照射領域を重ね合わせるようにして位置をずらしながら繰返し照射する可視光パルスレーザ照射手段を構成し、備えている。さらに、この製造装置は、パルスレーザ光源1、非線形光学素子10、集光照射光学系8などの組合せによって、可視光パルスレーザが第1の照射領域に照射されている間または照射される前に前記第1の照射領域に部分的に重なる第2の照射領域に紫外光パルスレーザを照射する紫外光パルスレーザ照射手段を構成し、備えている。
- [0022] 図7ー図16を参照して、本発明に基づく実施の形態1における薄膜半導体の製造方法について説明する。
- [0023] この製造方法は多結晶化工程を含む。多結晶化工程においては、可視光パルスレーザである第1のパルスレーザ光2を、集光照射光学系8によって、基板状の被照射物9の表面に線形状に集光し、この線形状の照射領域の幅方向に次のタイミングの照射領域を重ね合わせるようにして徐々に位置をずらしながら繰返し照射して被照射物9の表面に多結晶シリコン膜205(図2参照)を形成する。
- [0024] ただし、この製造方法では、第1のパルスレーザ光2だけでなく、第2のパルスレーザ光6も照射されている。そこで、これら2つのパルスレーザ光の進行について詳しく説明する。
- [0025] パルスレーザ光源1を出射した第1のパルスレーザ光2は、集光レンズ11により集光され、非線形光学素子10に入射する。非線形光学素子10は、上述したように2倍高調波発生時に位相整合条件が満たされるようにカットされているため、非線形光学素子10に入射した第1のパルスレーザ光2の一部は2倍高調波へと波長変換され、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6となる。第2のパルスレーザ光6は、第1のパルスレーザ光2の光路に沿って発生するため、ウォークオフによる進行方向のずれを無視すれば、第2のパルスレーザ光6は、第1のパルスレーザ光2の同軸上に

発生するものとみなすことができる。

- [0026] 非線形光学素子10を出射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6は、同一のベンドミラー12により直角に折り曲げられ、ビーム調整光学系13に入射する。ビーム調整光学系13は複数の円筒凸レンズおよび円筒凹レンズから構成されており、第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6のビーム径を拡大するとともに、ビーム広がり角を低減させる。
- [0027] 非線形光学素子10から集光照射光学系8までは、可視光域に波長を有する第1のパルスレーザ光2と、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6とが同一の光軸上を進むように両者を伝送するレーザ伝送部である。
- [0028] 集光照射光学系8に入射した第1のパルスレーザ光2および第2のパルスレーザ光6は、線形状に集光される。ここで、集光照射光学系8は、光軸に対して対称に設置された一対のプリズム80を備える。このため、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6との波長の違いにより、出射角度が異なるようになっている。本実施の形態では、このような集光照射光学系8の機能を利用して、第1のパルスレーザ光2の集光点と第2のパルスレーザ光6の集光点とをずらし、第2のパルスレーザ光6の集光点が常に被照射物9の進行方向後ろ側になるように照射する。第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6とは、波長が異なるため色収差を生じ、集光点が異なる。この製造方法においては、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6の集光点が、被照射物9上に位置するようにステージ14によって被照射試料9の高さが調整されている。
- [0029] 本実施の形態における製造方法によって被照射物9上に生じる第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6との各照射領域のパターンを図7に示す。第2のパルスレーザ光6の照射領域36が、第1のパルスレーザ光2の照射領域35に概ね半分重なっている。図7において、矢印71は被照射物9が進行する向きを示す。矢印34は、第1のパルスレーザ光2の照射領域35が被照射物9の表面を結果的にスキャンする向きを示す。第2のパルスレーザ光6の照射領域36は、被照射物9の進行方向後ろ側に位置するように集光されている。また、長手方向すなわち図7における左右方向に関しては、第2のパルスレーザ光6の照射領域36が第1のパルスレーザ光2の照射

領域35と同じ長さとなっているか、あるいは好ましくは、より長くなっているのがよい。

[0030] 図8に、集光レンズ21から出射する第1のパルスレーザ光22がアモルファスシリコン膜203に照射されてアモルファスシリコン膜203が溶融する様子の概念図を示す。図8の(a)における第1のパルスレーザ光22は、第1のパルスレーザ光2(図6参照)が集光照射光学系8内に備えられた集光レンズ21によって線形状に集光されたものである。

[0031] 線形状となった第1のパルスレーザ光22は、アモルファスシリコン膜203上の照射領域35に照射されるが、そのときの第1のパルスレーザ光22のエネルギー密度のプロファイル24を図8の(a)に示す。プロファイル24は、照射領域35の長手方向に関してはほぼ変化せず均一である、いわゆるトップフラット状であり、照射領域35の幅方向にはほぼガウス分布状である。

[0032] このようなプロファイル24を有するアルゴンレーザによって熱処理を行なうと、アモルファスシリコンに対するアルゴンレーザの吸収係数が小さいために膜厚方向に対してはほぼ均一に加熱される。このレーザ照射によって生じるシリコン膜内の横方向温度分布は、線状ビームの幅方向にのみ形成される。このレーザ照射によって生じるシリコン膜内の横方向の温度勾配は、線形状の照射領域35の幅方向に関してのみ形成される。したがって、図8の(b)に示すように、被照射物9の上面を覆うアモルファスシリコン膜203のうち、ある強度以上のビームが照射された領域が、深さ方向に関しては全体にわたって溶融する。すなわち、深さ方向では全体に広がった溶融部26が線形状の局所的領域に生じる。その様子を別の角度から表現したものを図9に示す。図9の(a)に示すプロファイル24のレーザ光が照射されることで、アモルファスシリコン膜203内は図9の(c)に示す温度分布となり、温度が融点を超えた領域においてのみアモルファスシリコンが溶融し、図9の(b)に示すように溶融部26となっている。

[0033] 深さ方向および線形状の照射領域35(図8の(a)参照)の長手方向には温度勾配が少ないため、結晶成長は照射領域35の幅方向への1次元横方向成長となり、図10に示すように結晶粒径が数 μ m程度という大きな結晶粒29が形成される。また、結晶成長の向きは照射領域35の幅方向であるので、このレーザ照射によって形成される多結晶シリコン膜の結晶粒29は、図10の(a)に示すように照射領域の幅方向30に

揃う。図10の(b)は、こうして再結晶化された部分の断面図であるが、深さ方向には温度勾配がほとんどないため、膜厚方向に関しては全域が一様に結晶化している。

[0034] 以上のような波長350nm以上のパルスレーザ光による熱処理における横方向の結晶成長の過程は、シリコン膜内での横方向に関する温度分布に大きく影響される。すなわち、照射される線形状のビームの幅方向のエネルギー密度分布に大きく影響される。レーザ光照射によりシリコン膜内に導入された熱は、一様に被照射物9の他の部分へと散逸していく。すなわち、シリコン膜内の横方向温度分布曲線は図11の(b)に示すように一様に低下していく。したがって、図11の(b)の矢印32に示すように、先に温度が融点を下回った部分から、後で温度が融点を下回る部分に向かって横方向に結晶成長が進む。こうして、図11の(a)に示すように横方向成長結晶31が形成される。

[0035] この横方向への結晶成長は、温度が冷えていく過程で自然核発生により成長した微結晶により、その行く手を遮られたときに止まる。したがって、横方向成長結晶31として大きな粒径の結晶を成長させるためには、自然核発生が起こるまでの時間内でできるだけ結晶粒が長く成長していることが好ましい。そのためには結晶成長速度が速いことが要求される。一般に、ある微小領域における結晶成長速度 v は $v=k\Delta T/\Delta x$ により表される。ここで、 k は速度定数、 ΔT は微小領域における温度差、 Δx は微小領域の幅である。すなわち、シリコン膜内の横方向に関して温度差が存在する場合、融点以上の温度である領域の温度分布が急峻な勾配であれば、結晶成長速度が速く、その結果、大きな結晶粒径の多結晶シリコン膜の形成が可能となる。このことを考慮すれば、シリコン膜内における横方向温度分布の急勾配化は、ターゲット表面における照射エネルギー密度分布を急勾配にすることにより実現できる。

[0036] 第1のパルスレーザ光22は、幅方向のプロファイルがガウス分布状になっているので、上述したアモルファスシリコン膜203表面における照射エネルギー密度分布の急勾配部分は幅方向の両側に合計2つ存在する。これら2つの部分でそれぞれ横方向成長する結晶は、幅方向の中心部分に向かって成長したものとなる。基板状の被照射物9の表面全体を多結晶シリコン膜205にするためには、被照射物9を図8の(a)に示す矢印71に示す向きに移動させることで、第1のパルスレーザ光22が被照射物

9の表面を相対的に矢印34の向きにスキャンすることとなる。しかし、このスキャンにおいては、被照射物9上の任意の1点に注目すれば、この1点に対しては、第1のパルスレーザ光22の照射領域35(図8の(a)参照)の被照射物9進行方向後ろ側および前側の合計2つの急勾配部分が順に通り返っていくこととなる。したがって、照射領域35のうち被照射物9の進行方向後ろ側の急勾配部分でできた結晶部分に再び被照射物9の進行方向前側の急勾配部分が照射され、結晶性が改変されることになる。しかも、350nm以上のレーザ光のシリコンにおける吸収率は、図12に示すように、アモルファスシリコンに比べ結晶シリコンの部分では非常に低くなる。

[0037] したがって、直前の照射により形成されている結晶の質によって非常に複雑な温度プロファイルがシリコン膜中に形成されてしまい、均一な結晶が形成できなかった。

[0038] ところで、紫外波長を有する第2のパルスレーザ光をシリコン膜に照射した場合、吸収係数はアモルファスシリコンと結晶シリコンで概ね同程度であり、またその絶対値も350nm以上の可視波長の光に比べ非常に大きい。このため、照射されるシリコン膜の質によらず表面でエネルギーが吸収され、膜厚方向に大きな温度分布を生じるので、横方向成長は生じない。紫外波長を有する第2のパルスレーザ光の照射エネルギー密度と、照射後に形成される結晶状態との関係を図13に示す。このグラフに示す結晶状態はそれぞれ光学顕微鏡で観察したものである。今回の実験では概ね600mJ/cm²を超える照射エネルギー密度では、照射前のシリコン膜の状態によらず、アモルファスシリコンとなっているという結果が得られている。

[0039] (薄膜半導体の製造装置の詳細)

本実施の形態における製造装置では、図8に示すように、第1のパルスレーザ光2を線形状に集光した第1のパルスレーザ光22と、第2のパルスレーザ光6を線形状に集光した第2のパルスレーザ光23とを被照射物9に対して照射する仕組みとなっている。ただし、この製造装置は、被照射物9に対して可視域に波長を持つ第1のパルスレーザ光22を照射すると同時に、被照射物9の進行方向後ろ側のプロファイル24が急勾配となる部分に、紫外域に波長をもつ第2のパルスレーザ光6を線形状に集光した第2のパルスレーザ光23をほぼ同時に照射できる構成となっている。図8の(a)において矢印71は被照射物9が実際に移動する向きを示し、矢印34は

、第1のパルスレーザ光22および第2のパルスレーザ光23が被照射物9の表面において相対的にスキャンする向きを示す。

[0040] なお、第2のパルスレーザ光23の照射エネルギー密度は結晶化エネルギーより高いエネルギーとなっている。本実施の形態では、パルスレーザ光源1のエネルギーのうち約40%を第2のパルスレーザに変換するようにすれば、この条件を満たすことができる。

[0041] なお、本実施の形態では、集光照射光学系8は、光軸に対して対称な形状に配置された1対のプリズム80を備える。この1対のプリズム80は、照射領域差別化手段である。この1対のプリズム80をスライドさせることにより、ガウス分布状の第1のパルスレーザ22のプロファイル24のいずれの側の急勾配部分に対しても第2のパルスレーザ光23が照射できるように構成されている。たとえば、基板である被照射物9全面を覆うように多結晶シリコン膜205を形成したい場合は、図14に示すように被照射物9表面をジグザグ状にスキャンして全面照射を行なえばよいが、この場合、1ラインをスキャンする度にスキャンの向きが反転する。スキャンの向きを反転させるとき、プリズム80をスライドさせて切り換えることにより第1のパルスレーザ22の光軸に対して第2のパルスレーザ光23の光軸のずれる向きを変更することができる。このような構成によって、第2のパルスレーザ光は、常に、第1のパルスレーザのプロファイル24の被照射物9の進行方向後ろ側の急勾配部分に照射されるようにすることができる。

[0042] 言い換えれば、本実施の形態における薄膜半導体の製造装置は、基板である被照射物9の表面に多結晶シリコン膜を形成するために、可視光パルスレーザである第1のパルスレーザ光2を被照射物9の表面に線形状に集光して第1のパルスレーザ光22とし、この第1のパルスレーザ光22の線形状の照射領域35の幅方向に次のタイミングの照射領域を重ね合わせるようにして位置をずらしながら繰返し照射する可視光パルスレーザ照射手段と、前記可視光パルスレーザが第1の照射領域35に照射されている間に前記第1の照射領域に部分的に重なる第2の照射領域36に紫外光パルスレーザである第2のパルスレーザ光23を照射する紫外光パルスレーザ照射手段とを備える。

[0043] （作用・効果）

図8の(a)におけるプロファイル24, 25を拡大したところを図15の(a)に示す。このようにプロファイル24, 25が重なるようにして照射されることによって、図15の(b)に示すように、プロファイル24単独の場合(図9参照)に比べて広い範囲で溶融し、溶融部26が形成される。このようなプロファイル24, 25の重ね合わせでスキャンすることによって、図16に示すように、被照射物9の進行方向後ろ側(図16における右側)の急勾配部分での結晶化は起こらず、第2のパルスレーザ光を照射した部分はアモルファス化することがわかった。さらに被照射物9に対するスキャンが進行するにつれて、アモルファス化した部分に第1のパルスレーザ光22の被照射物9の進行方向前側の急勾配部分が照射され、非常に均一な横方向成長結晶31が形成された。こうしてスキャンを行なうことによって、所望の領域にきわめて良好な多結晶シリコン膜205(図2参照)を形成することができた。

[0044] さらに本実施の形態では、被照射物9の全面にわたって横方向に成長した結晶に同一の結晶成長方向をもたせることができる(図10参照)。一般に、結晶は成長するにしたがって結晶性が良くなる。本実施の形態では、横方向成長の末端部分に連なるアモルファス化した部分のシリコンが再度溶融されて、それを起点に次の横方向成長が進むので、結晶成長がほぼ連続的となり、結晶性が非常に良くなっていた。また、本実施の形態では、個々の結晶粒29の末端部で形成される結晶粒界の隆起も低減されることがわかった。

[0045] このような薄膜半導体の製造装置を構成し、使用することによって、あるいは、このような薄膜半導体の製造方法を用いることによって、被照射物9の表面のアモルファスシリコン膜203を多結晶シリコン化することができ、しかも、得られる多結晶シリコン膜の結晶性を非常に良くすることができる。

[0046] (実施の形態2)

図17を参照して、本発明に基づく実施の形態2における薄膜半導体の製造装置であるレーザアニール装置について説明する。図17は、この薄膜半導体の製造装置においてパルスレーザ光源1として用いられる内部波長変換型固体レーザ装置101の概念図である。本実施の形態における薄膜半導体の製造装置では、内部波長変換型固体レーザ装置101が、パルスレーザ光源1として備わっているという点以外で

は、実施の形態1におけるもの(図6参照)と同様である。実施の形態1と重複する部分の説明は繰返さない。

[0047] 図17に示すように、内部波長変換型固体レーザ装置101は、活性媒質として用いられる固体素子である固体レーザ媒質115を備えている。固体レーザ媒質115としては、本実施の形態では、ネオジウムイオンがドープされたYAG(イットリウムアルミニウムガーネット)結晶が用いられている。固体レーザ媒質115の側方には固体レーザ媒質115を励起するための半導体レーザ素子116が配置されている。半導体レーザ素子116によって励起された固体レーザ媒質115は、波長1064nmの近赤外域にある基本波レーザ光117を放出する。基本波レーザ光117の光路上には、基本波レーザ光117をパルス化するためのQスイッチ118が設けられている。固体媒質レーザ115およびQスイッチ118を間に挟むような位置関係で、第1の端部ミラー120と第2高調波取出しミラー122とが設けられている。第2高調波取出しミラー122による反射光が向かう先には第2の端部ミラー121が設けられている。第2高調波取出しミラー122と第2の端部ミラー121との間には、基本波レーザ光117を波長変換し、第2高調波を発生する第2高調波発生用非線形光学素子119が設けられている。この第2高調波発生用非線形光学素子119には、本実施の形態においてはKTP(KTiOPO_4 、リン酸チタン酸カリウム)結晶が用いられている。第2高調波発生用非線形光学素子119は、波長1064nmの光を入射した際、2倍高調波発生時に位相整合条件が満たされるよう表面がカットされている。したがって、第2高調波は、波長532nmの可視光となる。また、図には示していないが第2高調波発生用非線形光学素子119には温度および設置角度の調整手段が設けられている。

[0048] この内部波長変換型固体レーザ装置101の内部では、第1の端部ミラー120を一端とし、第2の端部ミラー121を他端とした共振器が構成されており、その共振器の光路上にはQスイッチ118、固体媒質レーザ115、第2高調波取出しミラー122が配置されている。第2高調波発生用非線形光学素子119もまた、この共振器の内部の光路上に設けられており、共振器内部波長変換手段を構成している。第1の端部ミラー120には、波長1064nmの基本波レーザ光117に対し全反射を起こさせる全反射コーティングが施されている。第2の端部ミラー121には、波長1064nmの基本波レー

ザ光117と波長532nmの第2高調波との両者に対し全反射を起こさせる全反射コーティングが施されている。第2高調波取出しミラー122においては、光軸を折り曲げ、なおかつ第2高調波を共振器外部に取り出すために、波長1064nmの基本波レーザー光117に対しては全反射し、波長532nmの第2高調波に対しては全透過となるように2波長コーティングが施されている。第2高調波取出しミラー122を挟んで、第2高調波発生用非線形光学素子119と反対側には、第2高調波取出しミラー122から取り出された第2高調波の進行方向を折り曲げるための折曲げミラー123が設けられている。内部波長変換型固体レーザー101のケース124には、第2高調波光を取り出すためのビーム取出し窓125が設けられている。Qスイッチ118では、共振器内の光損失量を変化させることができる。

- [0049] 次に動作を説明する。まず、半導体レーザー116から出射する励起光を固体レーザー媒質115の光軸側方から固体レーザー媒質115に照射して固体レーザー媒質115を励起する。励起された固体レーザー媒質115中では、励起光の波長、活性媒質の原子構造に応じた特定のエネルギー準位間で反転分布が生じる。反転分布は自然放出および誘導放出により減少するが、共振器内に配置したQスイッチ118による光損失が大きい状態では、共振器内の光強度は増大し得ず、誘導放出による反転分布の減少は無視することができる。したがって、励起による反転分布増加量が自然放出による反転分布減少量を上回る限り反転分布は増加し、高いエネルギーが固体レーザー媒質115内に蓄積される。固体レーザー媒質115内に高いエネルギーが蓄積された状態で、Qスイッチ118による光損失量を急速に低下させると、固体レーザー媒質115内で発生した自然放出光は、第1の端部ミラー120と第2の端部ミラー121とにより共振器内に閉じ込められる。さらに、固体レーザー媒質115の誘導放出による増幅作用を被り、共振器内の基本波レーザー光117の光強度は急速に増加する。誘導放出の発生割合は、固体レーザー媒質115を通過する光強度に比例するため、光強度の高い基本波レーザー光117が固体レーザー媒質115中を通過する際には誘導放出が顕著となり、反転分布はしきい値以下にまで減少してしまう。この結果、共振器内の基本波レーザー光117は発振を停止する。上述のように、共振器内にQスイッチ118を設置し、共振器内の光損失を増減することにより、ピーク光強度の高いパルス光を発生することが

できる。特に本実施の形態においては、基本波レーザ光117を第1の端部ミラー120および第2の端部ミラー121から構成される共振器内に閉じ込める構成としているので、共振器内の基本波レーザ光117の光強度は非常に高くなる。

[0050] 本実施の形態では、共振器内に第2高調波発生用非線形光学素子119を配置し、かつ第1の端部ミラー120と第2の端部ミラー121によって基本波レーザ光117を共振器内に閉じ込めているので、非常にピーク光強度の高い基本波レーザ光117を第2高調波発生用非線形光学素子119へと入射させることができる。第2高調波発生用非線形光学素子119において、基本波レーザ光117が第2高調波へ変換される割合は、理論的には基本波レーザ光117の光強度の2乗に比例する。この実施の形態に示すような波長変換手段を共振器の光路内に有する共振器内部波長変換構成によれば、高強度の基本波レーザ光117を第2高調波発生用非線形光学素子119に入射させ、効率良く第2高調波光を発生させることができる。

[0051] 共振器内で発生した第2高調波は、共振器内に設置した第2高調波取出しミラー122から共振器外部に取り出される。共振器を出射した第2高調波は、折曲げミラー123により進行方向を折り曲げられ、ビーム取出し窓125よりケース124の外部に出射する。ケース124の外部に出射した可視域に波長を有する第2高調波は、この発明に係る薄膜半導体の製造装置であるレーザアニール装置の第1のパルスレーザ光2としてアニーリングに使用される。

[0052] なお、第2のパルスレーザ光6の発生方法、被照射物9までの伝送方法、被照射物9に対する照射方法は、非線形光学素子10が、波長532nmの光を入射した際の2倍高調波発生時に位相整合条件が満たされるようにカットされていることを除き、実施の形態1で示した構成と同じである。

[0053] 本実施の形態においては、固体レーザ媒質115を用いて近赤外域にある基本波レーザ光117を発生させ、Qスイッチ118でパルス化した基本波レーザ光117に対して、第2高調波発生用非線形光学素子119によって波長変換を施し、可視域に波長を有する第2高調波を発生させ、第1のパルスレーザ光2としてアニーリングに使用している。このように、固体レーザ媒質から発生する基本波レーザ光を可視光に波長変換し、第1のパルスレーザ光としてアニーリングに使用すれば、実施の形態1と同様な

効果が得られるばかりでなく、実施の形態1において第1のパルスレーザ光2の光源として用いていたアルゴンレーザなどのガスレーザとは異なり、第1のパルスレーザ光発生用の光源を小型化することができる。また、ガスレーザに比べて効率良く第1のパルスレーザ光2を発生させることができるので、アニーリング時のランニングコストが低減し、安価に高品質なアニーリングを行なうことができる。

[0054] さらに、実施の形態1で示したアルゴンレーザは、放電中の電子によりガス媒質を励起するので、放電発生用の電極の消耗を避けることができず、寿命および長期信頼性の観点において十分優れているとはいえない。しかし、本実施の形態に示すように、固体レーザ媒質15を使用すれば、長期信頼性が格段に向上するばかりでなく、出力の安定性も向上するので、メンテナンスコストの低減を図ることが可能なばかりでなく、長期間にわたり品質の安定したアニーリングを行なうことができる。また、ガスレーザに比べて高出力化が容易であるため、アニーリング作業の生産性の向上を図ることが容易である。

[0055] 本実施の形態においては、固体レーザ媒質115にYAG結晶を使用した例を示したが、固体レーザ媒質115の材料はこれに限るものではなく、たとえばネオジウムイオンをドープしたYLF (LiYF_4) 結晶を使用すれば、波長1047nmあるいは1052nmの近赤外域にある基本波レーザ光117が得られる。さらに、自然放出の寿命がYAG結晶よりも長いので、Qスイッチ118で基本波レーザ光117をパルス化する際、固体レーザ媒質115内に効率良くエネルギーを蓄積することができる。また、固体レーザ媒質115の温度変化にともなう屈折率の変化がYAG結晶よりも小さいので、レーザ出力およびビーム品質の安定性が向上する。固体レーザ媒質115は、ここで言及したYAG結晶、YLF結晶に限らず、近赤外域に発振波長を有するものであればいずれも適用が可能であり、アニーリングに必要な条件に応じて最良の結晶を選定すればよい。

[0056] また、この実施の形態においては、共振器内部で波長変換を行ない、固体レーザ媒質の第2高調波を発生する構成を示したが、共振器外に基本波レーザ光117を取り出しても基本波レーザ光117の光強度が十分に高く維持できるのであれば、第2高調波発生用非線形光学素子119を共振器外部に設置し、共振器外部で波長変換を

行ない第2高調波を発生させ、第1のパルスレーザ光2としてアニーリングに使用してもよい。共振器外部に第2高調波発生用非線形光学素子119を配置すれば、共振器のアライメントが容易になるばかりでなく、出力の安定性はさらに向上し、アニーリング結果物の品質保持がさらに簡単になる。

[0057] また、本実施の形態においては、半導体レーザ素子116を固体レーザ媒質115の励起光源として使用する構成を示したが、アークランプを固体レーザ媒質115の励起光源として使用してもよい。アークランプを励起光源として使用した場合、長期信頼性の観点で半導体レーザ116に比べ劣るものの、半導体レーザ116に比べ安価であるため、レーザアニール装置の製造コストの低減を図ることができる。

[0058] 本実施の形態においては、固体レーザ媒質115の第2高調波を第1のパルスレーザ光2として使用し、第1のパルスレーザ光2の2倍高調波を発生させ紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6を発生させる構成を示したが、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光6の発生手段は、2倍高調波発生に限るものではない。たとえば、固体レーザ媒質115の第2高調波を第1のパルスレーザ光2として使用する場合には、固体レーザ媒質115の基本波レーザ光117と第1のパルスレーザ光2である第2高調波を、非線形光学素子10に同時に入射させ和周波混合を行ない、紫外域に波長を有する基本波レーザ光の3倍高調波を第2のパルスレーザ光6として使用してもよい。波長変換を行なう非線形光学素子に対する熱負荷は、発生する波長変換光の波長が短くなるほど高くなるので、基本波レーザ光117の3倍高調波を第2のパルスレーザ光6として使用すれば、基本波レーザ光117の第2高調波の2倍高調波、すなわち、基本波レーザ光117の4倍高調波を第2のパルスレーザ光6として使用する場合よりも、第2のパルスレーザ光6を発生する非線形光学素子10の熱負荷が低減し、レーザアニール装置としての信頼性が向上する。

[0059] 実施の形態1および実施の形態2においては、Qスイッチを用いてレーザ光をパルス化する構成を示したが、パルス化の方法はこれに限るものではなく、例えばレーザ光源の励起をパルス動作で行なっても、アニーリングに適用可能なパルスレーザ光を得ることができる。

[0060] (実施の形態3)

図18を参照して、本発明に基づく実施の形態3における薄膜半導体の製造装置であるレーザアニール装置について説明する。この薄膜半導体の製造装置では、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光を得る方法として、第1のパルスレーザ光2を発生させるパルスレーザ光源1から高調波を取り出すのではなく、パルスレーザ光源1とは別の独立したパルスレーザ光源51を備えている。パルスレーザ光源51は、紫外レーザ光源であり、波長308nmのXeClエキシマレーザである。パルスレーザ光源51から出射した第2のパルスレーザ光6を第1のパルスレーザ光2に対して同軸に重ね合わせるためにパルスレーザ光源1と集光照射光学系8の間にダイクロイックミラー52を設置し、第1のパルスレーザ光2はほとんどロス無く透過させ、かつ第2のパルスレーザ光6を効率良く反射させて第1のパルスレーザ光2の光軸と第2のパルスレーザ光6の光軸とを一致させている。また、これら2つのレーザ光源の発振タイミングはタイミングコントローラにより同期させ、概ね同タイミングで被照射物9に照射されるようにしている。

- [0061] 本実施の形態のように第1、第2のパルスレーザの光源が別々に存在していても、実施の形態1と同様の照射を行ない、同様の効果を得ることができる。
- [0062] 本実施の形態では、第2のパルスレーザ光6を第1のパルスレーザ光2に依存せずに発生させることが可能であるので、第1のパルスレーザ光2から第2のパルスレーザ光6に波長変換するための非線形光学素子が不要となる。したがって、レーザアニール装置としての信頼性が向上する。
- [0063] なお、本実施の形態では、紫外域に波長を有する第2のパルスレーザ光としてXeClを用いたが、レーザの種類はこれに限られず、350nm未満に発振波長を有するパルスレーザであれば、同様の効果を奏する。
- [0064] (実施の形態4)

図19を参照して、本発明に基づく実施の形態4における薄膜半導体の製造装置について説明する。実施の形態3における薄膜半導体の製造装置では、第1のパルスレーザ光2と第2のパルスレーザ光6とをダイクロイックミラー52で同じ光軸に合わせたが、実施の形態4では、ダイクロイックミラー52から出射するそれぞれの光軸の向きにわずかに差をつけている。この角度の差は、被照射物9の表面で第2のパルスレー

ザ光の照射領域が、第1のパルスレーザ光の照射領域に概ね半分重なり、被照射物9の進行方向後ろ側に位置するような設定となっている。

[0065] 本実施の形態では、ダイクロイックミラー52が照射領域差別化手段である。

[0066] この場合も実施の形態1、3と同様の照射を行なうことができる。本実施の形態によってもこれまでの実施の形態と同様の効果を得ることができる。また、本実施の形態では、集光照射光学系8のプリズム80が不要となるので、薄膜半導体の製造装置を安価に実現できる。

[0067] (実施の形態5)

図20を参照して、本発明に基づく実施の形態5における薄膜半導体の製造装置について説明する。実施の形態1〜4における薄膜半導体の製造装置では、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光とをそれぞれ線形状に集光した状態で概ね同時に被照射物9に向けて照射したが、本発明の要点は、第1のパルスレーザ光のプロファイルのうち被照射物の進行方向後ろ側の急勾配の部分で形成される横方向成長の結晶部分をアモルファス化することにある。したがって、第1、第2のパルスレーザ光を必ずしも同時に照射する必要はなく、被照射物の進行方向後ろ側の急勾配の部分で横方向成長結晶が形成された後、被照射物の進行方向前側の急勾配の部分で照射されるまでの間に、第2のパルスレーザ光でこの横方向成長結晶部分をアモルファス化しても同様の効果が得られる。

[0068] エネルギー密度のプロファイルとして図20の(a)に示すプロファイル24を有する第1のパルスレーザ光を照射する。被照射物9は矢印71の向きに移動し、その結果、被照射物9に対する第1のパルスレーザ光によるスキャンは矢印34の向きに行なわれる。こうして、図20の(b)に示すように、被照射物9表面のアモルファスシリコン膜203の中に熔融部26が生じる。次に冷却が始まり、図20の(c)に示すプロファイル24の両側の勾配部分で横方向成長結晶31が形成される。次に、図20の(d)に示すように、プロファイル25を有する第2のパルスレーザ光を照射する。このとき、第2のパルスレーザ光は、プロファイル25がプロファイル24のうち、被照射物9の進行方向後ろ側すなわち矢印71と反対側の勾配部分に重なるような位置に照射される。その結果、図20の(e)に示すように、プロファイル25に覆われた領域で熔融部26が形成される。こ

のとき、被照射物9の進行方向前側の横方向成長結晶31は残るが被照射物9の進行方向後ろ側の横方向成長結晶31は再び熔融部26となる。この状態の被照射物9が冷却することによって、熔融部26であった部分が図20の(f)に示すようにアモルファス化し、アモルファス部分37となる。次に、図20の(g)に示すようにプロファイル24nを有する第1のパルスレーザ光を照射する。プロファイル24nは第1のパルスレーザ光の前の照射時のプロファイル24に比べて図中右にずれた位置となっている。よって図20の(h)に示すように、図中左側の横方向成長結晶31はそのまま残り、アモルファス部分37が再び熔融部26となる。このとき、プロファイル24nの勾配部分はプロファイル24で形成されていた勾配部分に比べ、図中右側にずれた位置にあるので、横方向成長結晶31の末端部分から図中右側に向けてさらに結晶が成長する。したがって、冷却後には図20の(i)に示す横方向成長結晶38のように長く延びた良質の結晶が形成される。このとき、プロファイル24nの図中右側の勾配部分でも横方向成長結晶31が形成されるが、この部分はこの後、再度プロファイル25(図20の(d)参照)を有する紫外域の第2のパルスレーザ光が照射されることによりアモルファス化する。このような手順で図20の(a)ー(i)のサイクルを繰返すことにより、被照射物9表面のスキャンが進行する。

[0069] 本実施の形態のように第1, 第2のパルスレーザを同時でなく別々のタイミングで照射することによっても、これまでの実施の形態と同様の効果を得ることができる。

[0070] 特に実施の形態3のように、それぞれ独立のレーザ光源を用いた場合には、本実施の形態のように第1, 第2のパルスレーザを別々のタイミングで照射することは好都合である。なぜなら、同時照射のための数ナノ秒のオーダーの同期が不要となるからである。本実施の形態では、せいぜい第1のパルスレーザの発振周期であるミリ秒オーダーの非常にラフな同期が実現できさえすれば足りるので、薄膜半導体の製造方法および製造装置の安定度が高まる。

[0071] なお、今回開示した上記実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではない。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

産業上の利用可能性

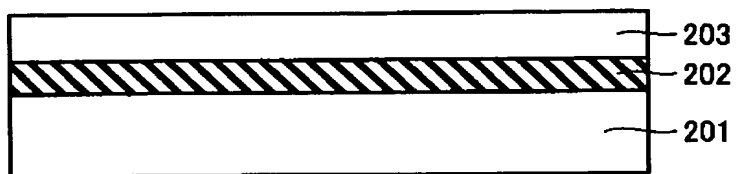
[0072] 本発明は、薄膜半導体の製造に適用することができる。

請求の範囲

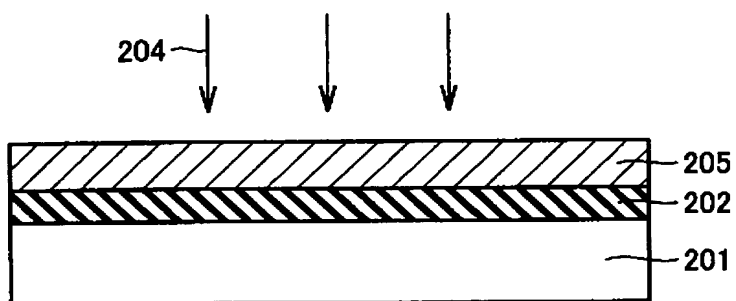
- [1] 可視光パルスレーザ(22)を被照射物の表面に線形状に集光して、この線形状の照射領域(35)の幅方向に次のタイミングの照射領域(35)を重ね合わせるようにして位置をずらしながら繰返し照射して前記被照射物の表面に多結晶シリコン膜を形成する多結晶化工程を含み、
- 前記多結晶化工程は、前記可視光パルスレーザ(22)が第1の照射領域(35)に照射されている間または照射される前に前記第1の照射領域(35)に部分的に重なる第2の照射領域(36)に紫外光パルスレーザ(23)を照射する、薄膜半導体の製造方法。
- [2] 前記被照射物を一方向(71)に相対的に移動させながら、前記第2の照射領域(36)が前記第1の照射領域(35)に比べて前記被照射物の進行方向後ろ側に位置するように、前記可視光パルスレーザ(22)および前記紫外光パルスレーザ(23)を照射する、請求の範囲第1項に記載の薄膜半導体の製造方法。
- [3] 前記可視光パルスレーザ(22)としてNd:YAGの第2高調波を用い、前記紫外光パルスレーザ(23)としてNd:YAGの第2高調波よりもさらに波長の短い高調波を用いる、請求の範囲第1項に記載の薄膜半導体の製造方法。
- [4] 被照射物の表面に多結晶シリコン膜を形成するために、可視光パルスレーザ(22)を前記被照射物の表面に線形状に集光して、この線形状の照射領域(35)の幅方向に次のタイミングの照射領域(35)を重ね合わせるようにして位置をずらしながら繰返し照射する可視光パルスレーザ照射手段と、
- 前記可視光パルスレーザ(22)が第1の照射領域(35)に照射されている間または照射される前に前記第1の照射領域(35)に部分的に重なる第2の照射領域(36)に紫外光パルスレーザ(23)を照射する紫外光パルスレーザ照射手段とを備える、薄膜半導体の製造装置。
- [5] 前記被照射物を一方向(71)に相対的に移動させる被照射物移動手段と、
- 前記第2の照射領域(36)が前記第1の照射領域(35)に比べて前記被照射物の進行方向後ろ側に位置するように設定する照射領域差別化手段とを備える、請求の範囲第4項に記載の薄膜半導体の製造装置。

- [6] 前記可視光パルスレーザ(22)としてNd:YAGの第2高調波を照射し、前記紫外光パルスレーザ(23)としてNd:YAGの第2高調波よりもさらに波長の短い高調波を照射することができる、請求の範囲第4項に記載の薄膜半導体の製造装置。
- [7] 前記可視光パルスレーザ(2)と前記紫外光パルスレーザ(6)とが同一の光軸上を進むように前記可視光パルスレーザおよび前記紫外光パルスレーザを伝送するレーザ伝送部(10, 12, 13, 8)と、
- 前記レーザ伝送部において前記可視光パルスレーザと前記紫外光パルスレーザとの出射角度に差をつけるために前記光軸を挟んで互いに対称な位置関係で配置されたプリズム(80)とを備える、請求の範囲第4項に記載の薄膜半導体の製造装置。

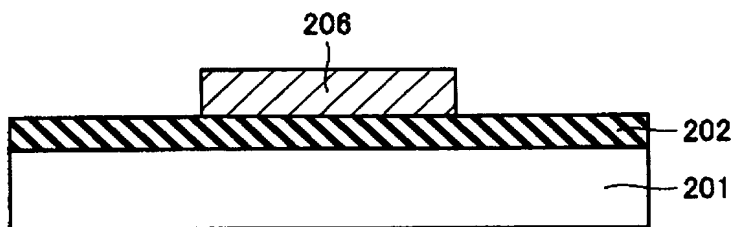
[図1]



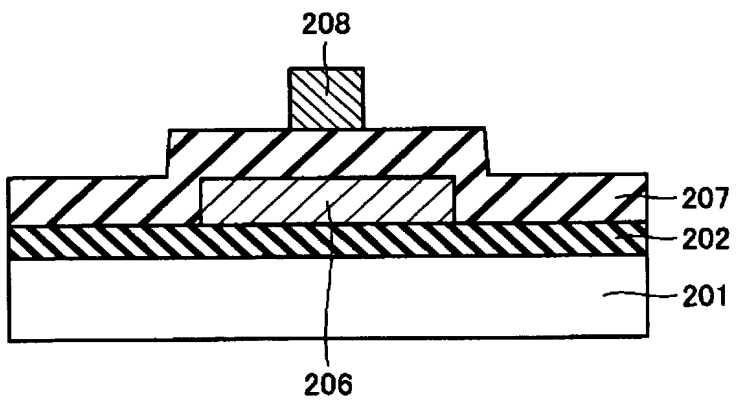
[図2]



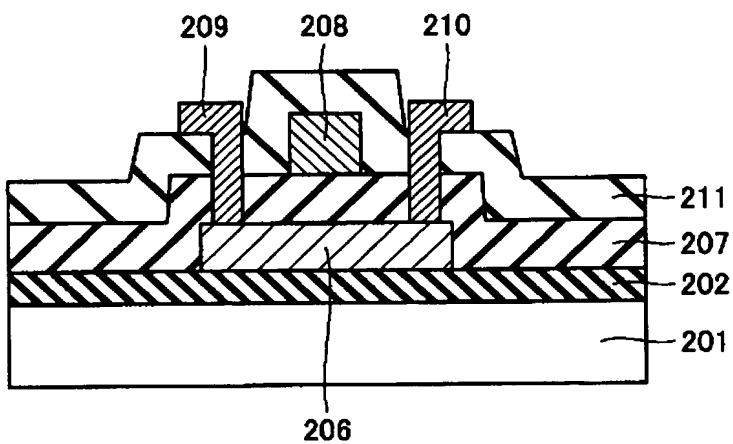
[図3]



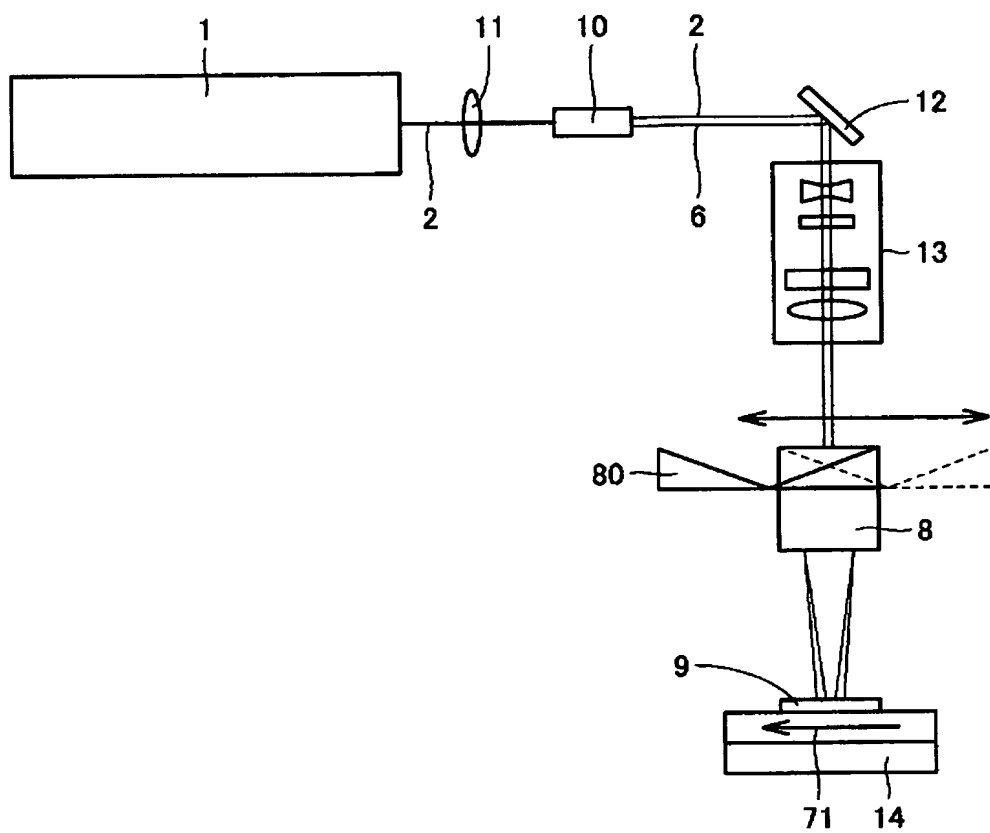
[図4]



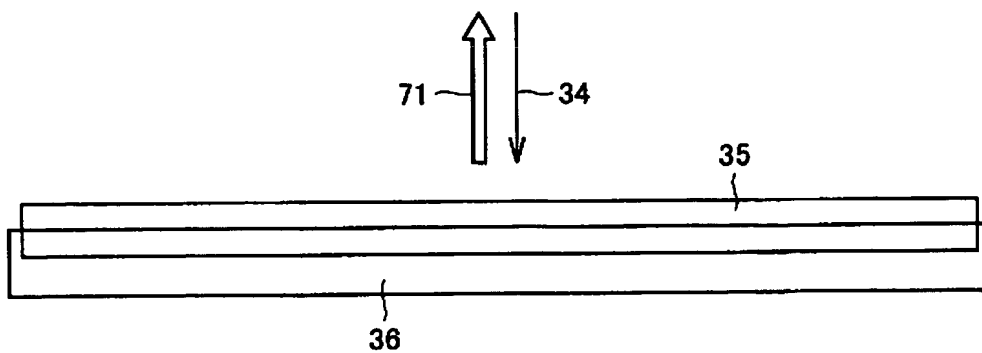
[図5]



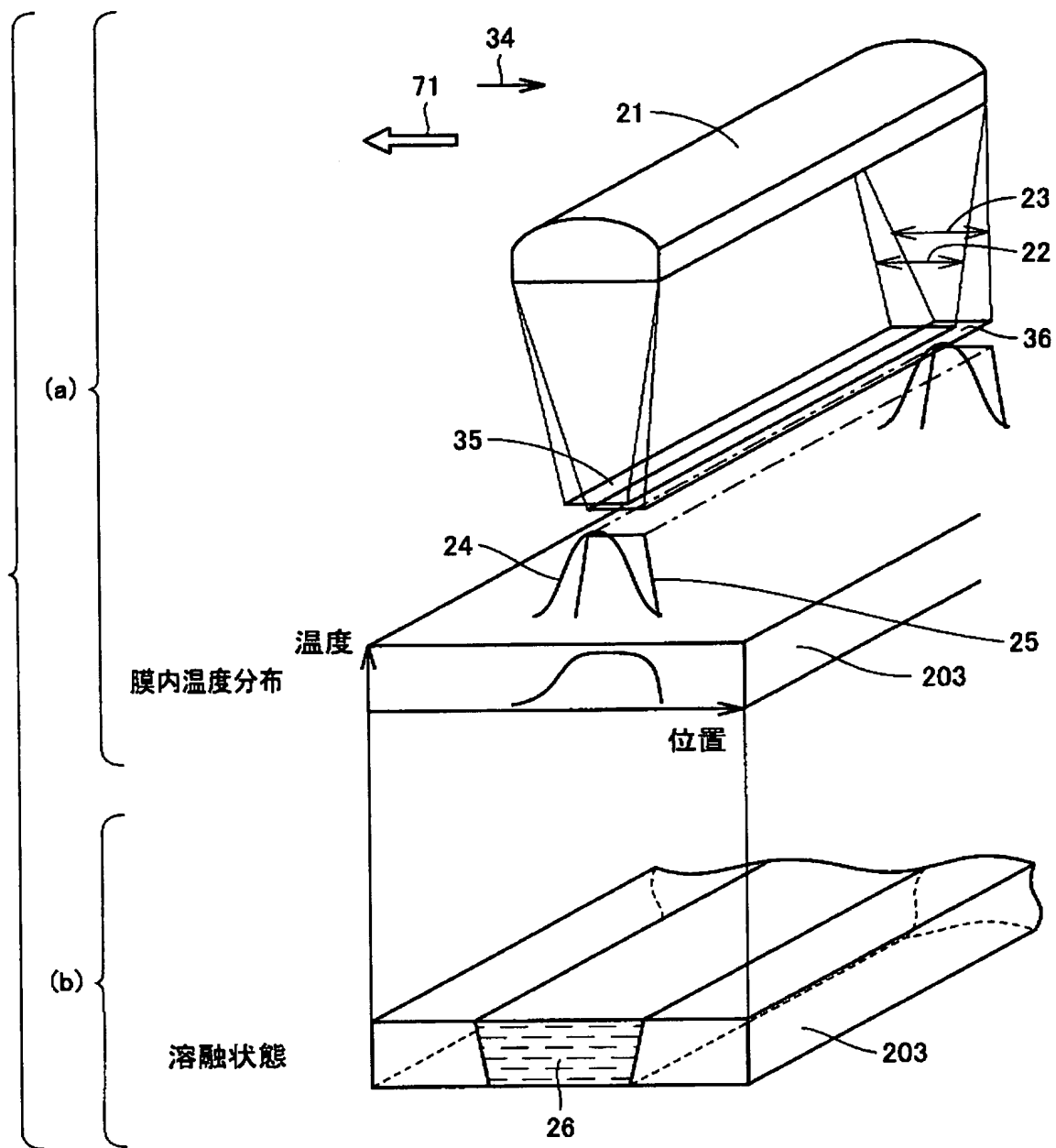
[図6]



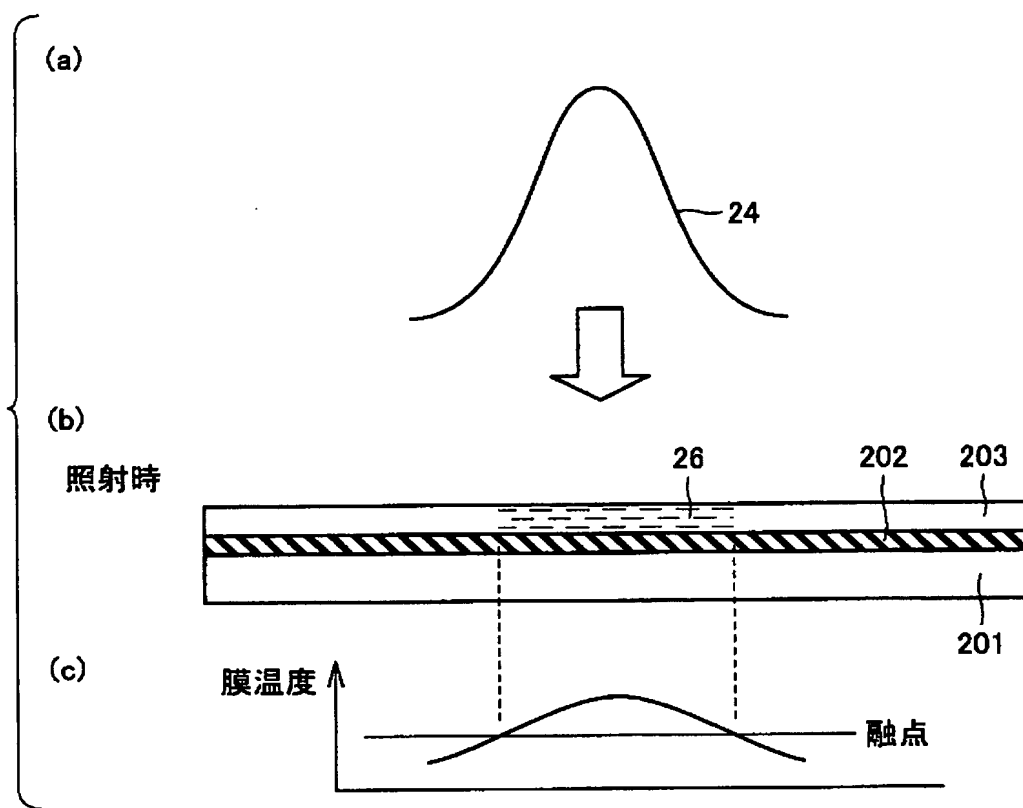
[図7]



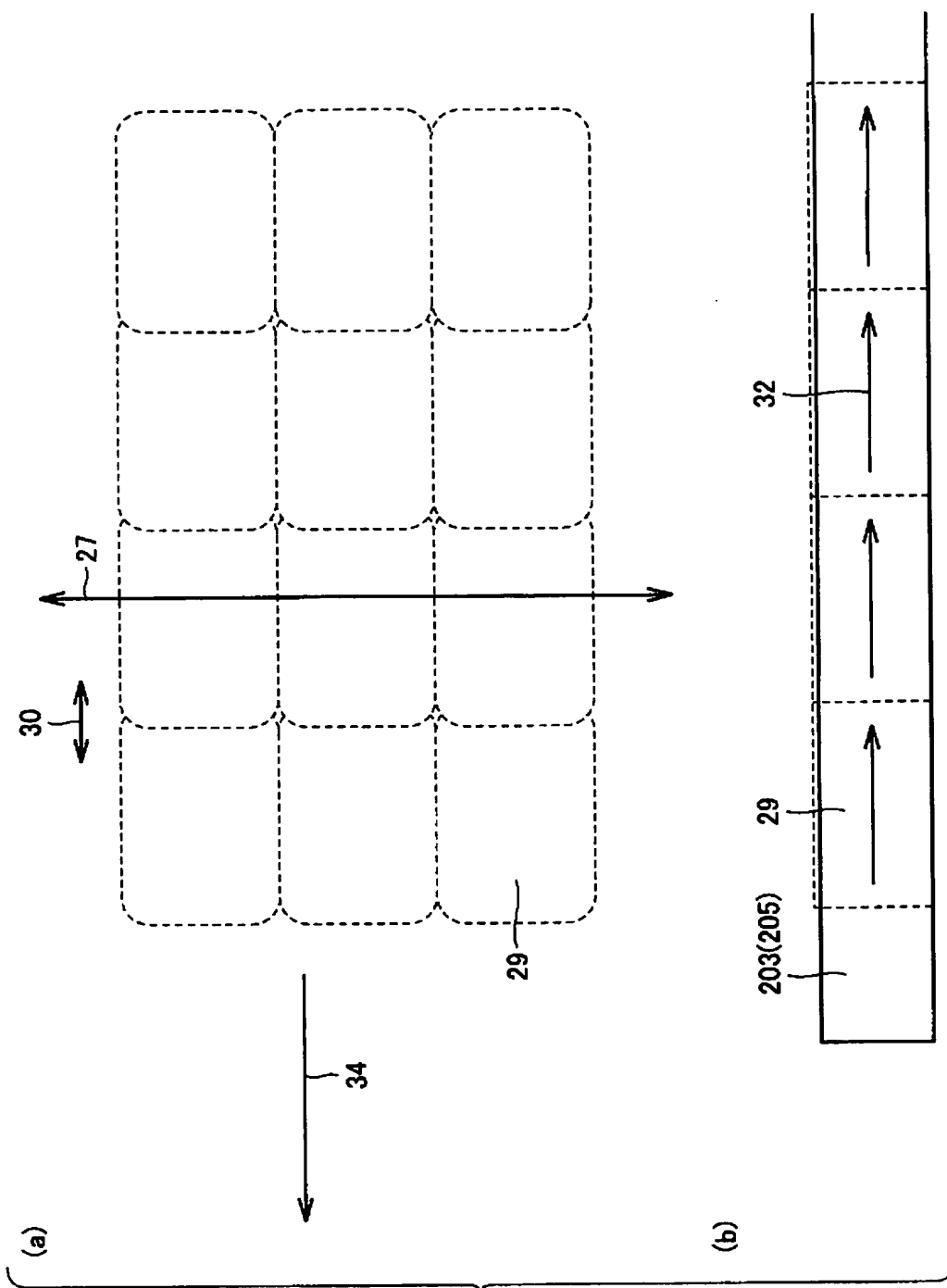
[図8]



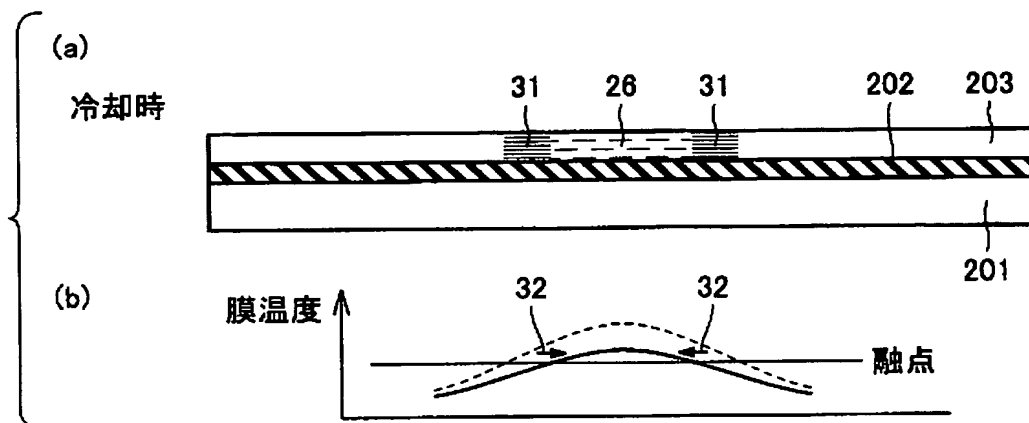
[図9]



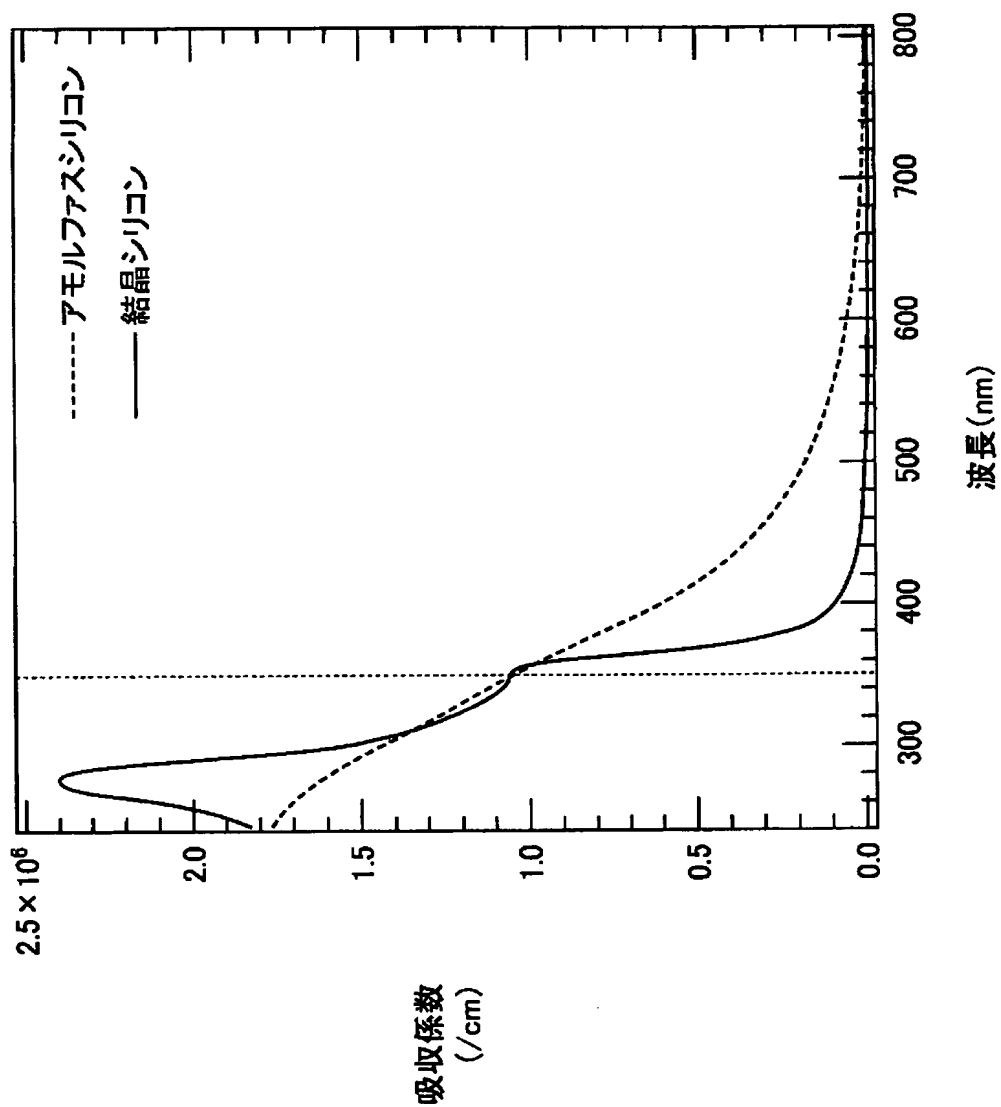
[図10]



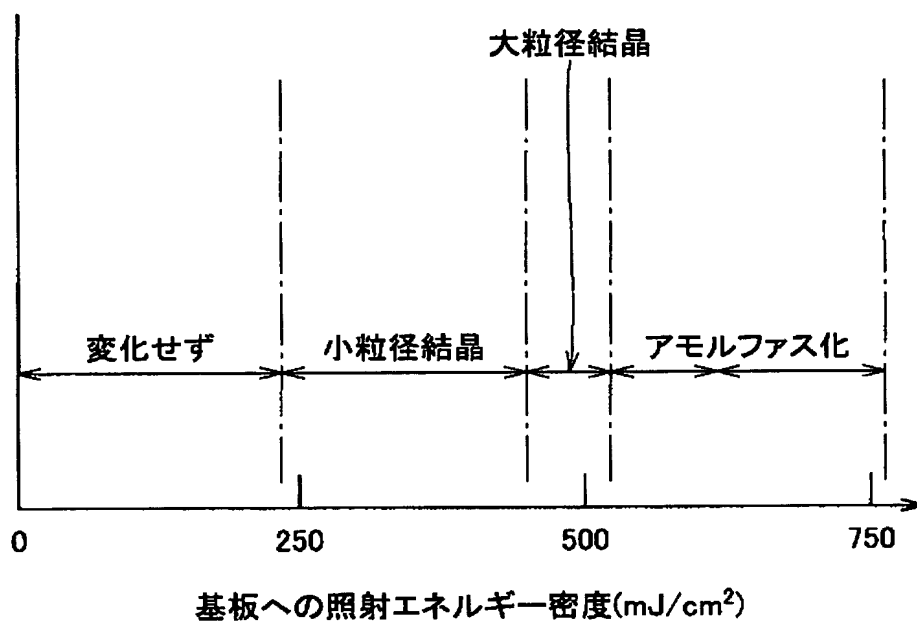
[図11]



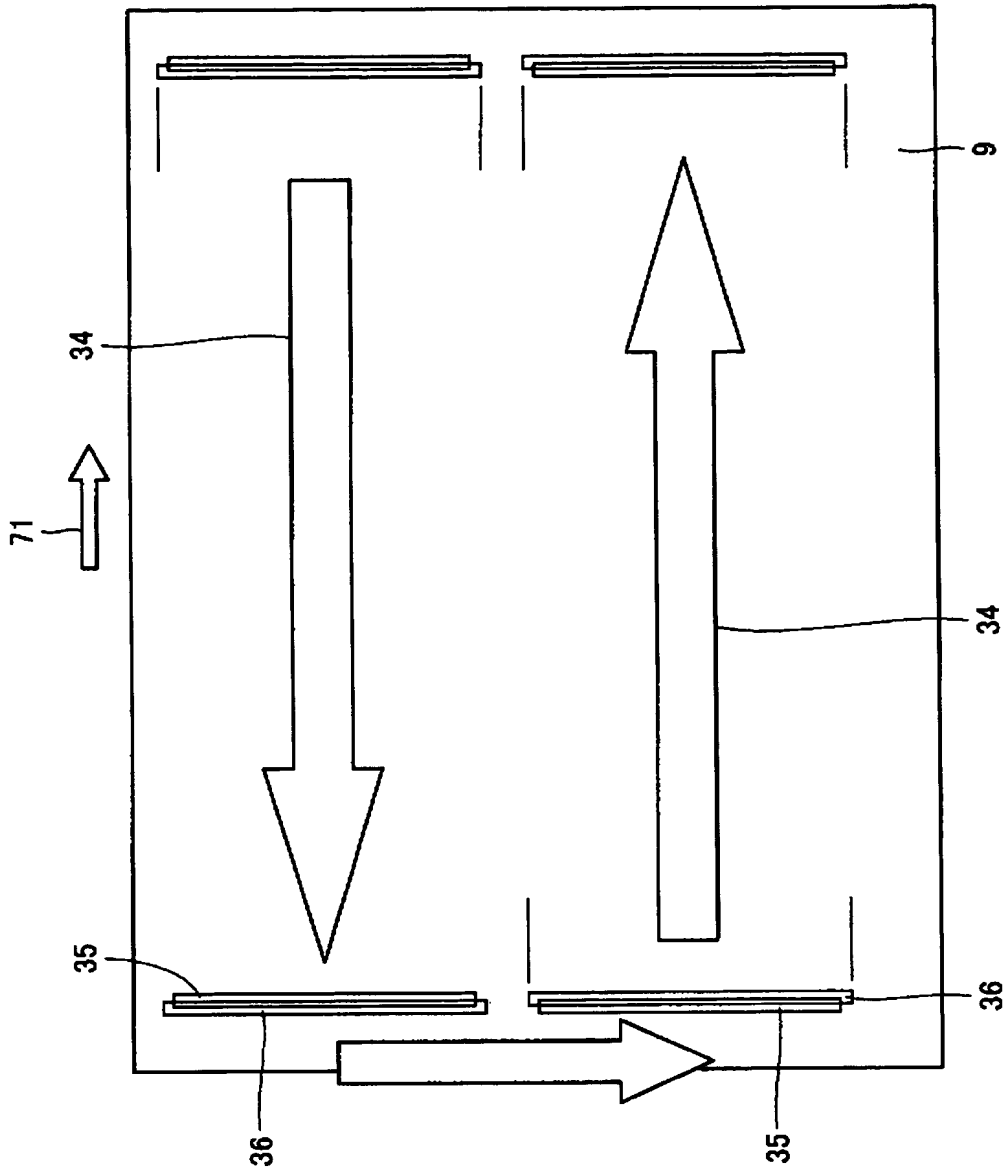
[図12]



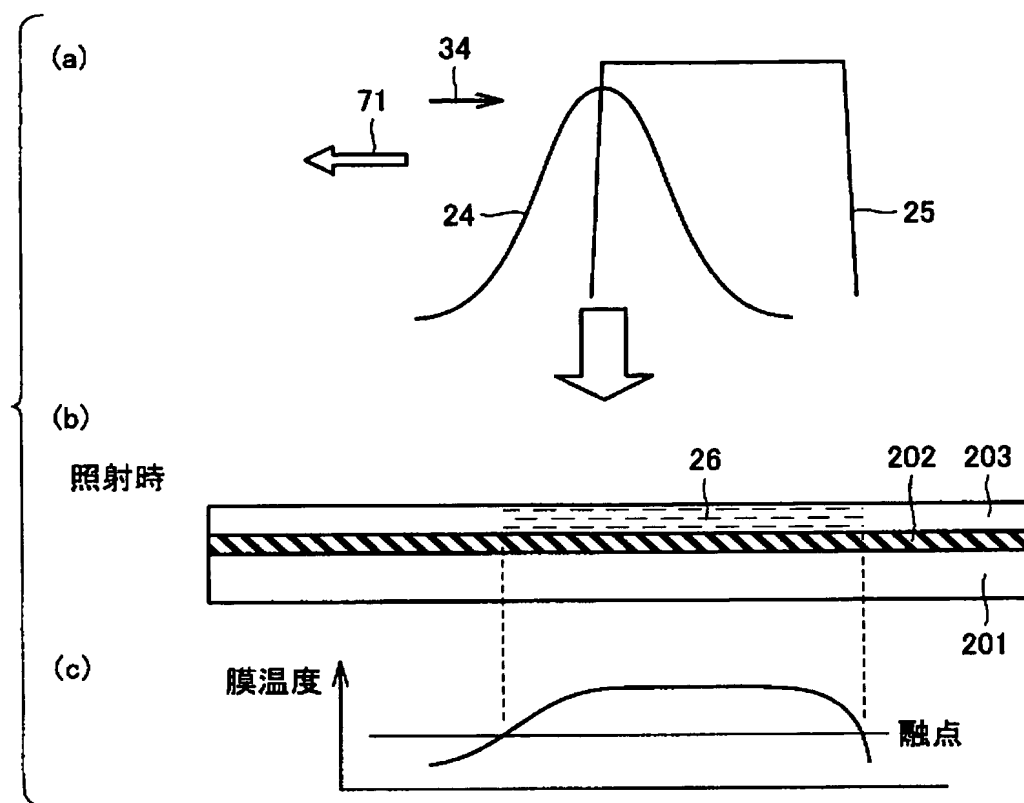
[図13]



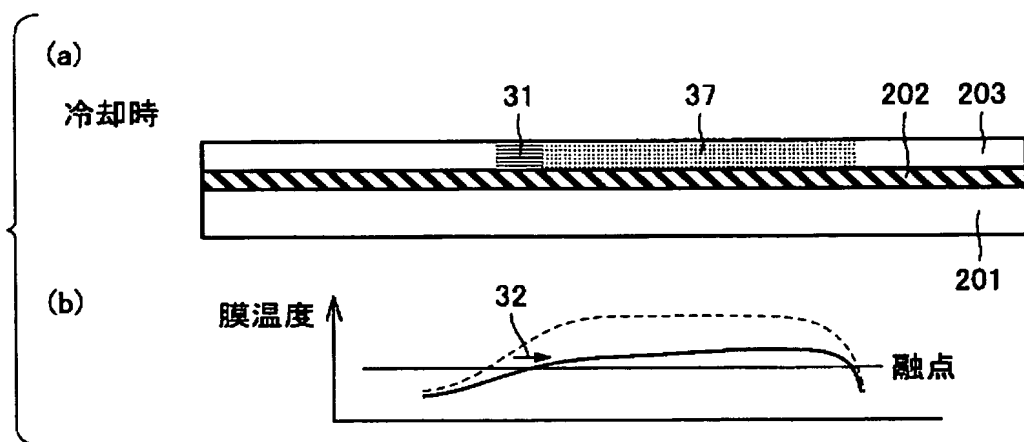
[図14]



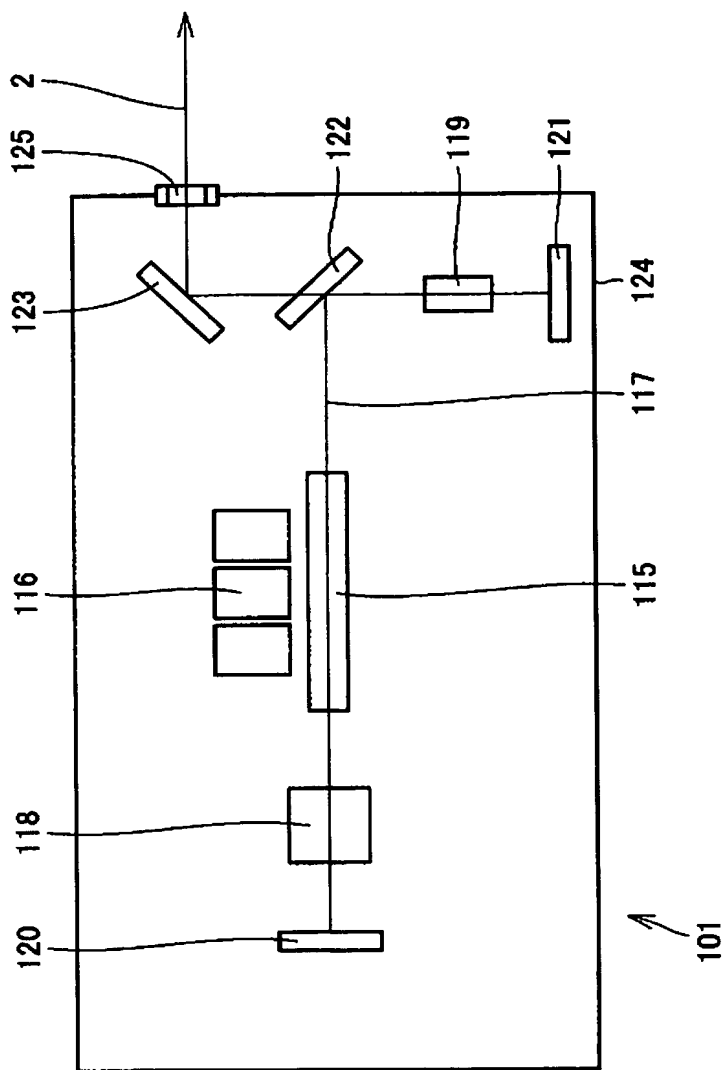
[図15]



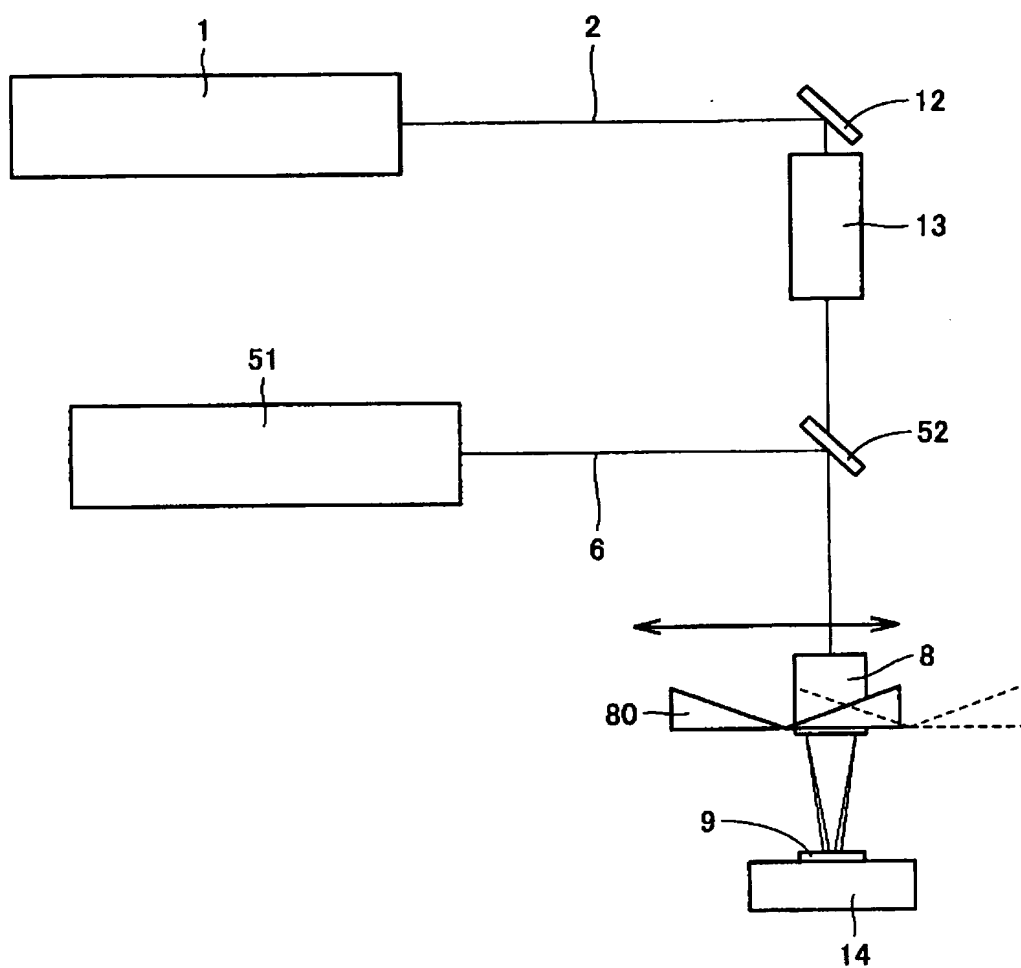
[図16]



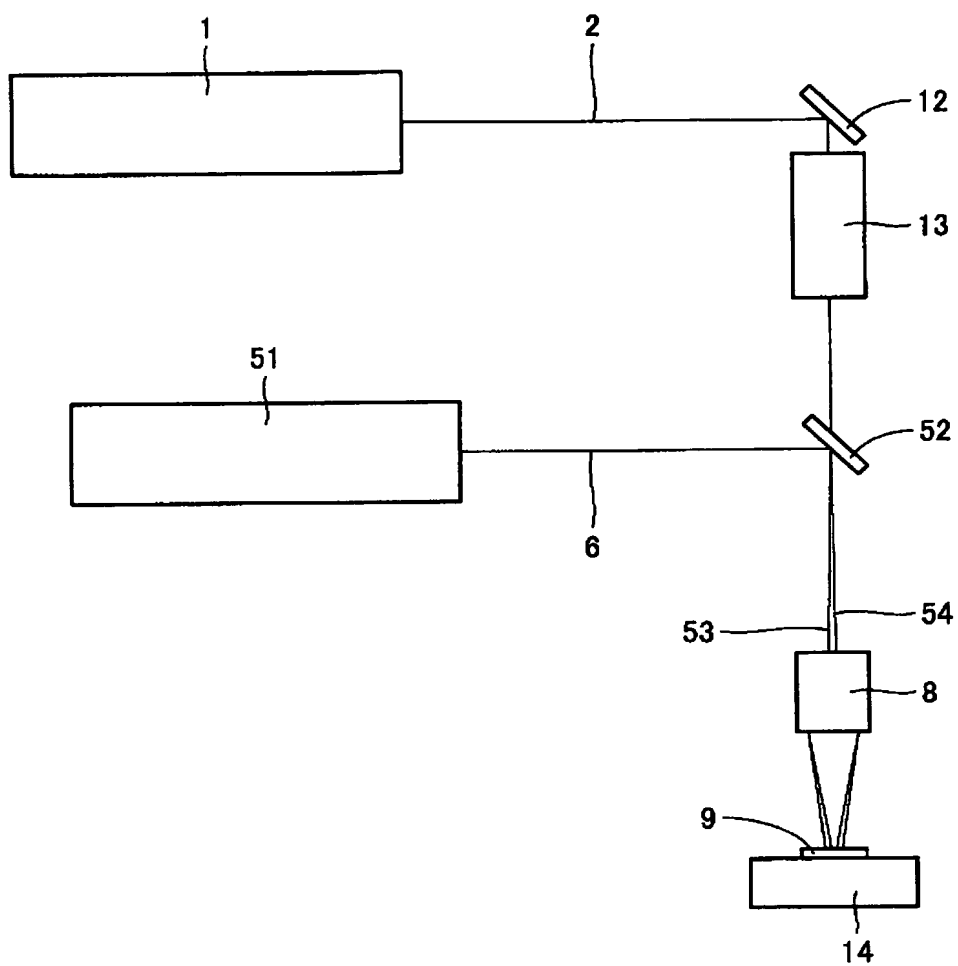
[図17]



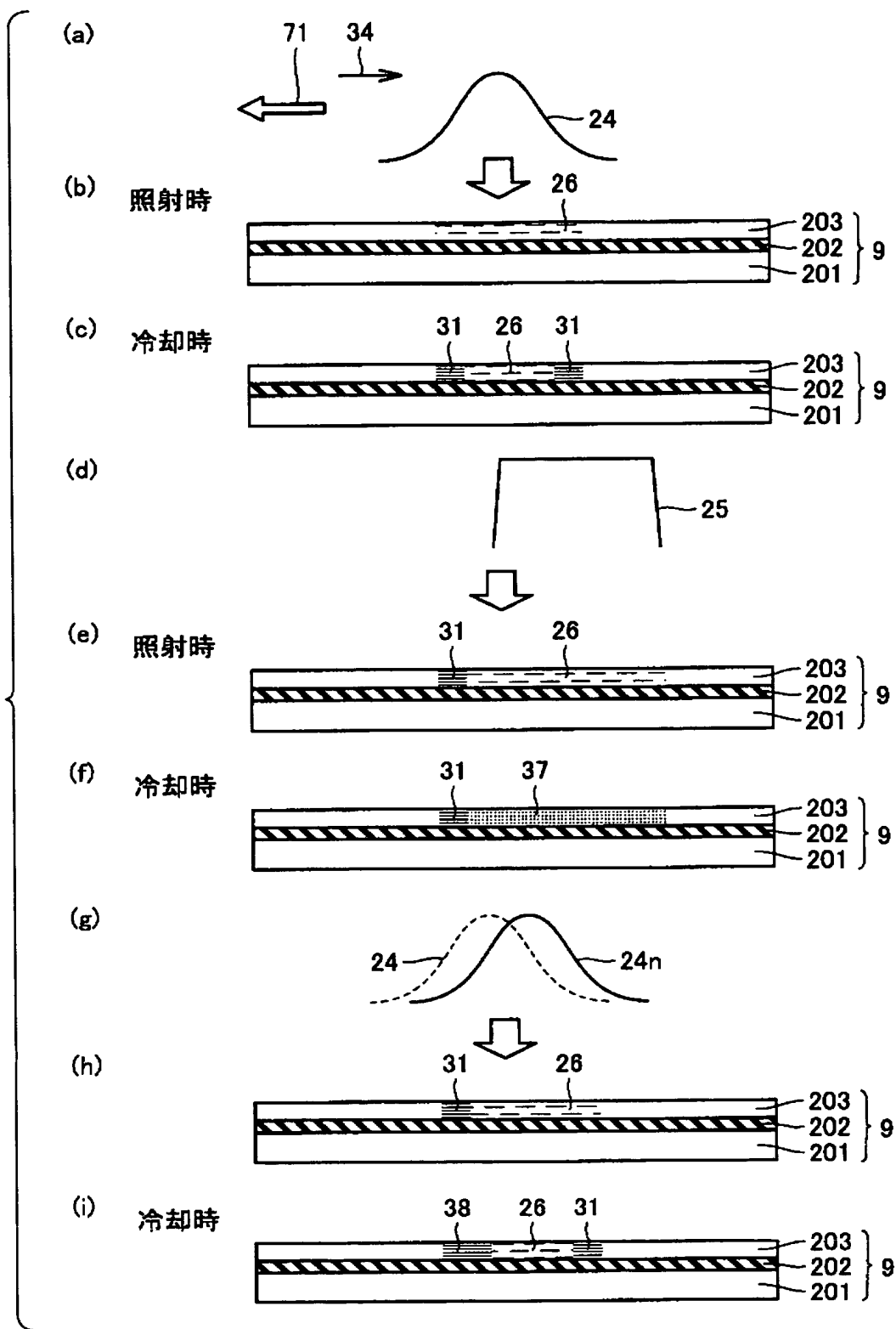
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011763

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/20, H01L29/786, H01L21/336

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/20, H01L29/786, H01L21/336

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2001-44120 A (Mitsubishi Electric Corp.), 16 February, 2001 (16.02.01), Full text; Figs. 1 to 11 (Family: none)	1, 3-4, 6 2, 5, 7
X Y A	JP 2000-12484 A (Mitsubishi Electric Corp.), 14 January, 2000 (14.01.00), Full text; Figs. 1 to 10 (Family: none)	1, 4 3, 6 2, 5, 7
A	JP 2003-68644 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 07 March, 2003 (07.03.03), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 September, 2004 (30.09.04)

Date of mailing of the international search report
19 October, 2004 (19.10.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011763

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-274095 A (NEC Corp.), 08 October, 1999 (08.10.99), Full text; Figs. 1 to 10 & US 6372039 B1	1-7
A	JP 2001-35806 A (NEC Corp.), 09 February, 2001 (09.02.01), Full text; Figs. 1 to 5 & US 2003/0032222 A1	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01L 21/20, H01L 29/786, H01L 21/336

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01L 21/20, H01L 29/786, H01L 21/336

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	JP 2001-44120 A (三菱電機株式会社) 2001.02.16, 全文, 第1-11図 (ファミリーなし)	1, 3-4, 6 2, 5, 7
X Y A	JP 2000-12484 A (三菱電機株式会社) 2000.01.14, 全文, 第1-10図 (ファミリーなし)	1, 4 3, 6 2, 5, 7
A	JP 2003-68644 A (住友重機械工業株式会社) 2003.03.07, 全文, 第1-4図 (ファミリーなし)	1-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.09.2004

国際調査報告の発送日

19.10.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

宮崎 園子

4M

3123

電話番号 03-3581-1101 内線 3462

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-274095 A (日本電気株式会社) 1999. 10. 08, 全文, 第1-10図 &US 6372039 B1	1-7
A	JP 2001-35806 A (日本電気株式会社) 2001. 02. 09, 全文, 第1-5図 &US 2003/0032222 A1	1-7